

Uso de Planilha Eletrônica para a Programação da Irrigação na Cultura do Milho



data	DAS	Fase	Z	Kc	ECA	Chuva	Irrigar?	Chuva Efetiva	Lâm. de Irrigação
22/09/1998	0	1	5,0	0,83	8,51		* sim	0,0	28,0
23/09/1998	1	1	5,6	0,83	5,12		não	0,0	0,0
24/09/1998	2	1	6,2	0,83	6,67		* sim	0,0	7,9
25/09/1998	3	1	6,8	0,83	7,46		não	0,0	0,0
26/09/1998	4	1	7,4	0,83	4,64		* sim	0,0	8,1
27/09/1998	5	1	8,1	0,83	7		não	0,0	0,0
28/09/1998	6	1	8,7	0,83	7,36		* sim	0,0	9,6
29/09/1998	7	1	9,3	0,83	6,34		não	0,0	0,0
30/09/1998	8	1	9,9	0,83	6,85	0,4	não	0,4	0,0
01/10/1998	9	1	10,5	0,83	6,95	0,5	* sim	0,5	12,5
02/10/1998	10	1	11,1	0,83	4,39	12,4	não	2,9	0,0
03/10/1998	11	1	11,7	0,83	8,15		não	0,0	0,0
04/10/1998	12	1	12,3	0,83	8,3		não	0,0	0,0
05/10/1998	13	1	13,0	0,83	8,43		* sim	0,0	16,6
06/10/1998	14	1	13,6	0,83	7,7		não	0,0	0,0
07/10/1998	15	1	14,2	0,83	5,17		não	0,0	0,0
08/10/1998	16	1	14,8	0,83	1,29	9	* sim	9,0	0,5
09/10/1998	17	1	15,4	0,83	5,8	1	não	1,0	0,0
10/10/1998	18	1	16,0	0,83	5,53		não	0,0	0,0
11/10/1998	19	1	16,6	0,83	6,59		não	0,0	0,0
12/10/1998	20	1	17,2	0,83				0,0	
13/10/1998	21	1	17,8	0,83				0,0	
14/10/1998	22	1	18,5	0,83				0,0	
15/10/1998	23	2	19,1	0,84				0,0	
16/10/1998	24	2	19,7	0,85				0,0	
17/10/1998	25	2	20,3	0,86				0,0	



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Ministro

MARCUS VINÍCIUS PRATINI DE MORAES

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Presidente

ALBERTO DUQUE PORTUGAL

Diretores

ELZA ANGELA BATTAGGIA BRITO DA CUNHA

JOSÉ ROBERTO RODRIGUES PERES

DANTE DANIEL GIACOMELLI SCOLARI

Embrapa Milho e Sorgo

Chefe Geral

ANTÔNIO FERNANDINO DE CASTRO BAHIA FILHO

Chefe Adjunto de Pesquisa

IVAN CRUZ

Chefe Adjunto de Administração

JOÃO CARLOS GARCIA

Chefe Adjunto de Comunicação e Negócios

JOSÉ HAMILTON RAMALHO

Uso de Planilha Eletrônica para a Programação da Irrigação na Cultura do Milho

*Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
Camilo de Lélis Teixeira de Andrade*

Embrapa

Milho e Sorgo

Copyright © Embrapa - 2000
Embrapa Milho e Sorgo
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Telefone: 0xx31 3779-1000
Fax: 0xx31 3779-1088
www.cnpms.embrapa.br
sac@cnpms.embrapa.br

Tiragem: 500 exemplares

Editor: Comitê de Publicações da Embrapa Milho e Sorgo

Ivan Cruz (Presidente), Frederico Ozanan Machado Durães
(Secretário), Antônio Carlos de Oliveira, Arnaldo Ferreira da
Silva, Edilson Paiva, Paulo César Magalhães, Jamilton Pereira
dos Santos

Revisão e Diagramação: Dilermando Lúcio de Oliveira

Normalização bibliográfica: Maria Tereza R. Ferreira

Coordenação Editorial: Área de Comunicação Empresarial da Embrapa
Milho e Sorgo

A345u 2000	ALBUQUERQUE, P.E.P.de; ANDRADE, C.de L.T. de. Uso de planilha eletrônica para a programação da irrigação na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 24p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 5.)
---------------	--

Milho; Irrigação; Manejo, Planilha eletrônica

CDD 633.15

© Embrapa - 2000

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
2. IMPORTÂNCIA DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO	6
3. TÉCNICAS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO ..	6
4. OBJETIVOS	8
5. METODOLOGIA	8
5.1. Balanço da água no solo	8
5.2. Definição do turno e da lâmina de irrigação	10
5.3. Estimativa da Água Total Disponível (ATD), do fator de depleção (p) e da profundidade efetiva do sistema radicular (Z) do milho	11
5.4. Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET _c)	14
5.5. Descrição dos parâmetros incorporados na planilha ..	16
6. EXEMPLO	23
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

USO DE PLANILHA ELETRÔNICA PARA A PROGRAMAÇÃO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA DO MILHO

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque¹

Camilo de Lélis Teixeira de Andrade²

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é fundamental para a produção de alimentos, em situação de deficiências de chuva e para estabilizar a produção agrícola, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Atualmente, a sexta parte das terras agrícolas do mundo é irrigada e fornece mais de um terço da produção global de alimentos.

A necessidade de alimentos de uma população mundial crescente acarretará obrigatoriamente um aumento da produção agrícola, que virá em grande escala das áreas irrigadas.

Como a disponibilidade de recursos hídricos para a irrigação está se tornando cada vez mais escassa, a água e o seu custo surgem como fatores limitantes à expansão da agricultura irrigada.

No Brasil, aproximadamente 61% de todo o suprimento de água doce é usado para a agricultura e a produção de alimentos (Rebouças, 1999). A demanda por água de boa qualidade cresceu incrivelmente nas últimas décadas. Para se ter uma idéia dessa expansão, somente no Brasil a agricultura irrigada saltou de 60 mil hectares, em 1950, para 2,87 milhões de hectares, em 1998, dos quais 960 mil hectares (33%) são de irrigação por inundação em tabuleiros de arroz na Região Sul (Christofidis, 1999).

Entretanto, a eficiência do uso da água na produção agrícola é baixa. Somente 40 a 60% da água é efetivamente usada pela cultura, o restante é perdido no sistema, na propriedade e no campo,

¹Eng.-Agríc., D.Sc., Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151. CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: emilio@cnpms.embrapa.br

²Eng.-Agríc., Ph.D., Embrapa Milho e Sorgo. E-mail: camilo@cnpms.embrapa.br

seja através da evaporação, do escoamento superficial ou da percolação. Talvez parte dessas perdas possa ser reposta, mas custos adicionais serão envolvidos

O manejo inadequado da água de irrigação é uma das principais razões para essa baixa eficiência do uso da água.

2. IMPORTÂNCIA DO MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Uma gama de problemas ambientais advém do uso ineficiente da água, tais como inundação, lixiviação de agroquímicos e conseqüente poluição do lençol freático, assim como a sua salinização e a do solo resultante de aplicações insuficientes de água.

O manejo da irrigação é o processo para decidir quando irrigar as culturas e quanto aplicar de água. Esse é o único meio para otimizar a produção agrícola e conservar a água, além de ser a chave para melhorar o desempenho e a sustentabilidade de sistemas de irrigação.

Para o manejo de irrigação, é necessário ter bons conhecimentos do requerimento de água das culturas e das características físico-hídricas do solo, para determinar quando irrigar, enquanto que o método de irrigação adequado estabelece com um certo grau de exatidão a água a aplicar.

3. TÉCNICAS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO

O nível de tecnologia do produtor determinará a escolha da estratégia de manejo de irrigação. Grandes produtores e os que plantam culturas de alto valor econômico podem adotar e investir em técnicas mais sofisticadas. Por outro lado, mesmo agricultores que usam nível mais baixo de tecnologia podem usufruir de técnicas de manejo de irrigação, como a adoção de um calendário de irrigação baseado em condições médias de solo/clima/cultura ou um controle operacional simplificado, que pode se basear em intervalos fixos e aplicação constante de água.

As pesquisas têm avançado consideravelmente nas últimas décadas e um grande número de novas técnicas e metodologias tem sido disponibilizado para uso direto no manejo de irrigação. Segundo Itier et al. (1996), essas técnicas têm sido baseadas principalmente em:

- ❑ Métodos de determinar o requerimento de água pela cultura, tais como os introduzidos pela FAO, que estimam a evapotranspiração da cultura (ET_c) a partir de dados climáticos, usando o coeficiente de cultura (K_c) combinado com a evapotranspiração de referência (ET_o).
- ❑ O balanço de água no solo e conceitos relacionados e técnicas de medições são primordiais para a aplicação no manejo de irrigação.
- ❑ Indicadores de estresse hídrico que ajudam a identificar e quantificar o estresse hídrico da planta. Eles incluem a aplicação de tensiômetros monitorando o potencial da água no solo em culturas irrigadas, a temperatura da copa da cultura, a taxa de alongamento da folha, o potencial de água na folha, as variações do diâmetro do pecíolo ou o fluxo de seiva.
- ❑ Funções de produção que reproduzem os efeitos da disponibilidade limitada de água sobre o rendimento das culturas, incluindo a sua sensibilidade ao estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento.
- ❑ Modelos de simulação com diferentes graus de sofisticação, que podem reproduzir a complexidade dos processos e incluir meios de suporte à tomada de decisão. Esses ajudam a planejar e manejar em tempo real tanto em condição de propriedade quanto de sistema e são úteis para o manejo de irrigação.

Os problemas associados com o manejo de irrigação são razoavelmente conhecidos. No entanto, o uso de técnicas melhoradas de irrigação e de resultados de pesquisa fornecem uma grande variedade de meios para efetuar o manejo de irrigação. Apesar disso, a aplicação prática ainda está muito aquém do esperado.

4. OBJETIVOS

Com a expansão da informática como uma ferramenta útil na tomada de decisão dos vários fatores inerentes à agropecuária, está se tornando cada vez mais fácil também usá-la como meio de estabelecer o manejo de irrigação de culturas. Dessa forma, o objetivo principal do presente trabalho será mostrar a utilização de planilha eletrônica como um meio de se fazer o manejo de irrigação para a cultura do milho, através da técnica do balanço da água no solo, usando como dados de entrada a evaporação da água do tanque Classe A e da precipitação pluviométrica diárias. Será também apresentado um exemplo de sua utilização.

5. METODOLOGIA

5.1. Balanço da água no solo

Será apresentada aqui a técnica do balanço de água no solo como estratégia de manejo de irrigação. Dependendo do grau de precisão que se deseja, estimativas, medições ou inclusões de variáveis poderão ser efetuadas.

Assim, será mostrado que uma opção para se fazer a programação da irrigação é através do uso de características físico-hídricas do solo e da medição da evaporação da água do tanque Classe A e da precipitação pluviométrica.

O balanço de água no solo é um método usado para prever a variação no conteúdo de água no solo na região ou no volume de solo em que engloba o sistema radicular da cultura. Esse método normalmente considera uma condição de água no solo que não deve causar déficit ou excesso de água ao sistema radicular da cultura, contribuindo, portanto, para a cultura obter o mais alto rendimento técnico. Por isso, o turno e as lâminas de irrigação assim obtidas podem variar continuamente ao longo do ciclo da cultura.

Desse modo, o balanço se baseia na equação de conservação de massa:

$$\Delta(\text{CAD} \times Z) = \text{Água que entra} + \text{Água que sai} \quad (1)$$

em que: Δ representa variação, CAD é o conteúdo de água disponível e Z a profundidade do sistema radicular.

O CAD é uma fração da água total disponível (ATD) para as plantas, sendo a ATD definida pelo conteúdo de água no solo que está entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) (Hillel, 1980).

É muito importante conhecer o CAD no dia do plantio, através de estimativas ou medições, para se poder fazer o balanço durante o ciclo de desenvolvimento da cultura (Itier et al., 1996). Atualmente, tem-se recomendado irrigar no dia do plantio, de modo que o CAD atinja a ATD numa profundidade de pelo menos o dobro daquela da semeadura, ou seja, se a semeadura foi feita a 5 cm de profundidade, o valor de Z para efeito de irrigação fica sendo de 10 cm pelo menos. No presente caso, o Z considerado para a irrigação de plantio foi o seu valor máximo ($Z_{m\acute{a}x}$).

Na superfície do solo, as variáveis que entram (+) e que saem (-) do balanço podem ser a chuva (+ P), a irrigação (+ I), o escoamento superficial ($\pm ES$) e a evapotranspiração real (- ET_c). Abaixo da superfície do solo, têm-se a ascensão capilar (+ AC) e a drenagem profunda (- D).

Na condição mais comum da ocorrência de um lençol freático mais profundo, o termo AC é desprezado, pois não há a sua contribuição para aumentar o conteúdo de água para a zona radicular.

A lâmina de irrigação (I), calculada sem excesso e aplicada a uma taxa dentro da velocidade de infiltração básica (V/B) do solo, não causa drenagem profunda nem escoamento superficial, portanto, tanto D quanto ES podem ser desprezados também. Entretanto, na ocorrência de precipitação (P) com valores mais elevados, haverá a ocorrência de D , assim como pode haver também ES , dependendo da intensidade de P . Para desprezar D e ES , deve-se, portanto, estimar a chuva efetiva (Pe_f), que é aquela que realmente contribui para suprir a cultura.

Para não haver efeito sobre o desenvolvimento normal da cultura, a ET_c não pode sofrer redução devido à umidade do solo diminuir a tal ponto que possa dificultar a extração de água pelas raízes (Doorenbos e Pruitt, 1977). Uma irrigação que não prevê déficit hídrico para a cultura deve levar em conta um fator de depleção (p) da água no solo. O p define a *água facilmente disponível* (AFD), que é a fração da ATD ($0 < p < 1$) que não causará efeito negativo sobre o desenvolvimento da cultura. Desse modo, $AFD = p \times ATD$. O termo p é também chamado de fator de disponibilidade (f). O valor de p depende, basicamente, da cultura, do seu estágio de desenvolvimento e das condições do clima.

Levando em conta esses diversos aspectos, o presente trabalho considera a seguinte equação para o balanço de água no solo, utilizando a planilha eletrônica *Excel*, da *Microsoft®*, para a entrada e processamento dos dados:

$$\Delta(ATD \times p \times Z) = I + P_{ef} - ET_c \quad (2)$$

em que: Δ representa variação, ATD é água total disponível no solo (em mm de água/cm de solo), p é o fator de depleção ($0 < p < 1$), Z é a profundidade efetiva do sistema radicular (em cm), I é a lâmina de irrigação (em mm), P_{ef} a precipitação efetiva (em mm) e ET_c a evapotranspiração da cultura (em mm).

5.2. Definição do turno e da lâmina de irrigação

O lado esquerdo da equação 2 [$\Delta(ATD \times p \times Z)$] representa o armazenamento de água que o solo comporta até um valor mínimo admissível (p) dentro do volume de controle considerado que, nesse caso, é o volume de solo que está limitado pela profundidade do sistema radicular. Essa expressão é que vai definir o turno ou a frequência de irrigação, isto é, quanto menor o seu valor maior é a frequência e vice-versa.

O lado direito da equação 2 vai definir a lâmina de irrigação (I) em função do dia determinado para irrigar. Desse modo, obser-

vando a capacidade do solo em armazenar água, a lâmina líquida de irrigação (I) no dia determinado é dada por:

$$I = ET_c - P_{ef} \quad (3)$$

Para a estimativa da precipitação efetiva (P_{ef}) é considerada, no presente caso, que toda precipitação pluviométrica seja infiltrada no solo e que o excesso de água que ultrapasse a sua capacidade de retenção de água, a partir da umidade real do solo no dia em questão, seja drenada além da zona radicular. Então, P_{ef} é estimada apenas pela lâmina que efetivamente pode contribuir para o consumo de água da cultura.

5.3. Estimativa da Água Total Disponível (ATD), do fator de depleção (p) e da profundidade efetiva do sistema radicular (Z) do milho

Como já foi visto, para a obtenção da *Água Total Disponível (ATD)* do solo é necessário que se conheça a umidade do solo na *capacidade de campo (CC)* e no *ponto de murcha permanente (PMP)*. A relação entre a umidade do solo (θ) e o potencial matricial da água no solo (ψ_m) gera a chamada *curva de retenção* ou *curva característica* (Reichardt, 1996). Na prática, considera-se a *CC* de um solo com o seu potencial matricial de água (ψ_m) variando entre -10 e -30 kPa (faixa para solos de textura grossa a fina, respectivamente) e o *PMP* como -1500 kPa.

Para solos de diferentes texturas, Vermeiren e Jobling (1997) apresentam faixa de valores para algumas de suas características físico-hídricas (Tabela 1).

A utilização da Tabela 1 requer um certo cuidado, principalmente em solos que têm características físico-hídricas diferentes da regra geral para a textura. Por exemplo, os latossolos encontrados nos Cerrados normalmente possuem textura fina, esses se comportam como solos de textura de grossa (*ATD* entre 80 e 100 mm/m), em função da presença de óxidos de ferro que favorecem a

formação de agregados pequenos, bastante estáveis, de comportamento semelhante ao da areia (Resende et al., 1995).

O milho pode ter o valor de p em torno de 0,5, ou seja, usar 50% da água total disponível no solo. Entretanto, de acordo com as condições climáticas reinantes e com a fase do ciclo cultural, esse valor pode variar para mais ou para menos. Assim, a Tabela 2 fornece valores de p para o milho em função da sua evapotranspiração máxima.

Tabela 1. Valores aproximados para algumas características físico-hídricas dos solos, segundo a sua classe textural (Vermeiren e Jobling, 1997).

Textura do solo	VIB ¹ cm/h	Densidade g/cm ³	CC ² %peso	PMP ³ %peso	ATD ⁴ %peso	ATD ⁵ mm/m
Arenoso	5 (2,5-22,5)	1,65 (1,55-1,80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	85 (70-100)
Franco-arenoso	2,5 (1,3-7,6)	1,50 (1,40-1,60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	120 (90-150)
Franco	1,3 (0,8-2,0)	1,40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	170 (140-190)
Franco-argiloso	0,8 (0,25-1,5)	1,35 (1,30-1,40)	27 (25-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	190 (170-220)
Silto-argiloso	0,25 (0,03-0,5)	1,30 (1,25-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	210 (190-230)
Argiloso	0,05 (0,01-0,1)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	230 (200-250)

¹ VIB: velocidade de infiltração básica. O primeiro valor representa a média e os valores entre parênteses representam a faixa de variação.

² CC: umidade do solo na capacidade de campo

³ PMP: umidade do solo no ponto de murcha permanente

⁴ ATD: água total disponível = (CC – PMP)

⁵ ATD: em lâmina de água por profundidade de solo

Tabela 2. Coeficiente de depleção (p) da água no solo para a cultura do milho, de acordo com a evapotranspiração máxima (ET_m) (Doorenbos e Kassam, 1979).

ET_m (mm/dia)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p	0,875	0,80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45	0,425	0,40

Segundo Arruda et al. (1987) e Brasil (1986), citados por Moreira (1993), a profundidade efetiva média do sistema radicular do milho (Z) pode ser de 40 a 50 cm. Obviamente, esses valores são considerados na condição da cultura já ter atingido o seu pleno desenvolvimento. Na fase inicial, esses valores são estimados menores, pois o sistema radicular ainda está se desenvolvendo. No presente caso, o valor inicial de Z é considerado como a profundidade de semeadura (Z_0) e, a partir daí, é crescente linearmente dia-a-dia até atingir o valor máximo (Z_{max}), que ocorrerá no início da fase 3 do ciclo vegetativo. O ciclo vegetativo é dividido em quatro fases e será discutido posteriormente. Desse modo, o desenvolvimento do sistema radicular é considerado nos cálculos da planilha na forma apresentada na Figura 1.

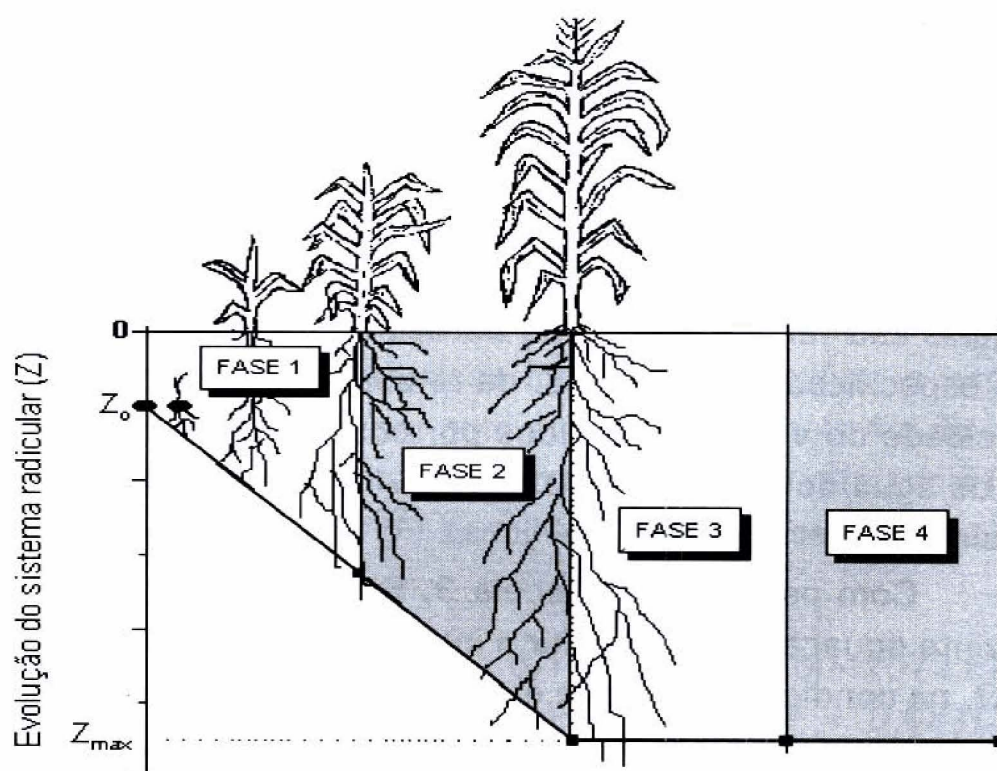


Figura 1. Estimativa do desenvolvimento do sistema radicular do milho em função das fases do ciclo da cultura (Z_0 é a profundidade de semeadura e Z_{max} é a profundidade efetiva do sistema em seu desenvolvimento máximo).

Na realidade, pode ser que o Z seja mais raso ou mais profundo do que se supõe. Então, deve-se enfatizar os seguintes pontos: a) se o Z estiver na realidade mais raso, supondo que esteja mais profundo, isso significa que o solo na zona radicular ficará seco por mais tempo, com irrigações menos freqüentes; b) se o Z estiver na realidade mais profundo, supondo que esteja mais raso, isso significa que o solo na zona radicular permanecerá sempre úmido, com irrigações mais freqüentes.

5.4. Estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c)

A estimativa da ET_c diária no presente caso é baseada na evaporação de água do tanque Classe A (ECA), através da seguinte relação:

$$ET_c = K_c \times K_t \times ECA \quad (4)$$

Os parâmetros adimensionais K_c e K_t são, respectivamente, os coeficientes da cultura e do tanque. O produto $K_t \times ECA$ do lado direito da equação representa a evapotranspiração de referência (ET_o).

Os valores de K_t podem ser obtidos em publicações especializadas, como Doorenbos e Pruitt (1977) e Allen et al. (1998), os quais são função do raio de bordadura do tanque (R), conforme está especificado na Figura 2, da umidade relativa do ar (UR) e da velocidade do vento (v), obtidos por ocasião da coleta da evaporação da água do tanque (ECA). Esses valores estão reproduzidos na Tabela 3.

Com os dados da Tabela 3, Snyder (1992) desenvolveu a seguinte equação para permitir a interpolação dos valores tabelados de K_t , na condição de tanque exposto em condição de bordadura de cobertura vegetal (caso A da Figura 2):

$$K_t = 0,482 + 0,024.\ln(R) - 0,000376.v + 0,0045.UR \quad (5)$$

em que:

K_t = coeficiente do tanque;

R = raio de bordadura do tanque (m);

v = velocidade do vento média (km/dia);

UR = umidade relativa do ar média (%).

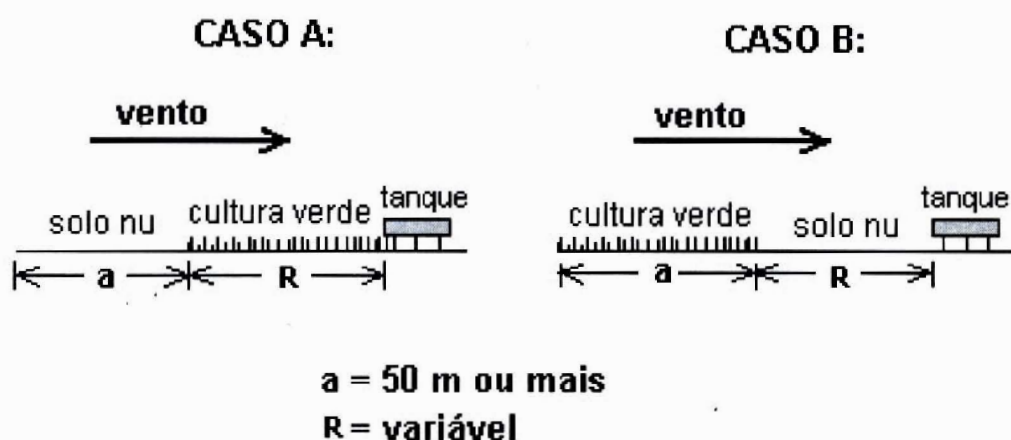


Figura 2. Raio de bordadura (R) do tanque Classe A em duas condições: em cultura verde (caso A) e em solo nu (caso B).

Também para a obtenção dos valores de K_c , há publicações especializadas (como a de Doorenbos e Pruitt, 1977, e Allen et al., 1998) que os fornecem, os quais são variáveis de acordo com o tipo de cultura, o seu estágio de crescimento e condições climáticas reinantes. Para a cultura do milho, os valores de K_c podem variar na forma apresentada pela Figura 3, de acordo com o seu estágio, sendo que os valores mínimos e máximos dependem também das condições climáticas locais. Para facilitar a escolha desses valores, pode-se contar com o auxílio da Tabela 4 e da equação seguinte, de acordo com a evapotranspiração de referência (ET_o) e com o turno de irrigação (F) escolhido para a Fase 1 do ciclo da cultura:

$$K_c = 1,41704 - 0,092412.ET_o - 0,11001.F + 0,0042672.ET_o^2 + 0,0033743.F^2 + 0,00028724.ET_o.F \quad (R^2 = 0,981) \quad (6)$$

em que:

K_c = coeficiente de cultura para a Fase 1;

ET_o = evapotranspiração de referência reinante na época da Fase 1 (mm/dia, $1 \leq ET_o \leq 10$ mm/dia);

F = turno de irrigação na Fase 1 (dias, $2 \leq F \leq 20$ dias).

Tabela 3. Valores do coeficiente do tanque Classe A (K_t), segundo as condições do seu raio de bordadura (R), velocidade média do vento (v) e umidade relativa média do ar (UR) de 24 h predominantes no período de leitura da evaporação (Doorenbos e Pruitt, 1977).

		Caso A: tanque exposto em local coberto com vegetação verde			Caso B: tanque exposto em local de solo nu			
UR* média (%)		Baixa < 40	Média 40 – 70	Alta > 70		Baixa < 40	Média 40 – 70	Alta > 70
Vento (km/dia)	Borda- dura (R) m				Borda- dura (R) m			
Leve < 175 (< 2 m/s)	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Mode- rado 175-425 (2-5m/s)	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700 (5-8m/s)	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 700 (> 8 m/s)	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

* umidade relativa (UR)

A equação 6 foi gerada através de ajuste realizado nas curvas apresentadas de $K_c \times ETo \times F$ por Doorenbos e Pruitt (1977), para a estimativa dos valores de K_c para qualquer cultura anual na Fase 1 do seu ciclo de desenvolvimento.

5.5. Descrição dos parâmetros incorporados na planilha

a) Considerações gerais

O arquivo é denominado de “manimilho” e possui duas planilhas: “Manejo de Irrigação-MILHO” e “EXEMPLO”. A primeira é a matriz e é importante que se façam cópias desta toda vez que se necessite implantar um novo cultivo de milho a ser irrigado.

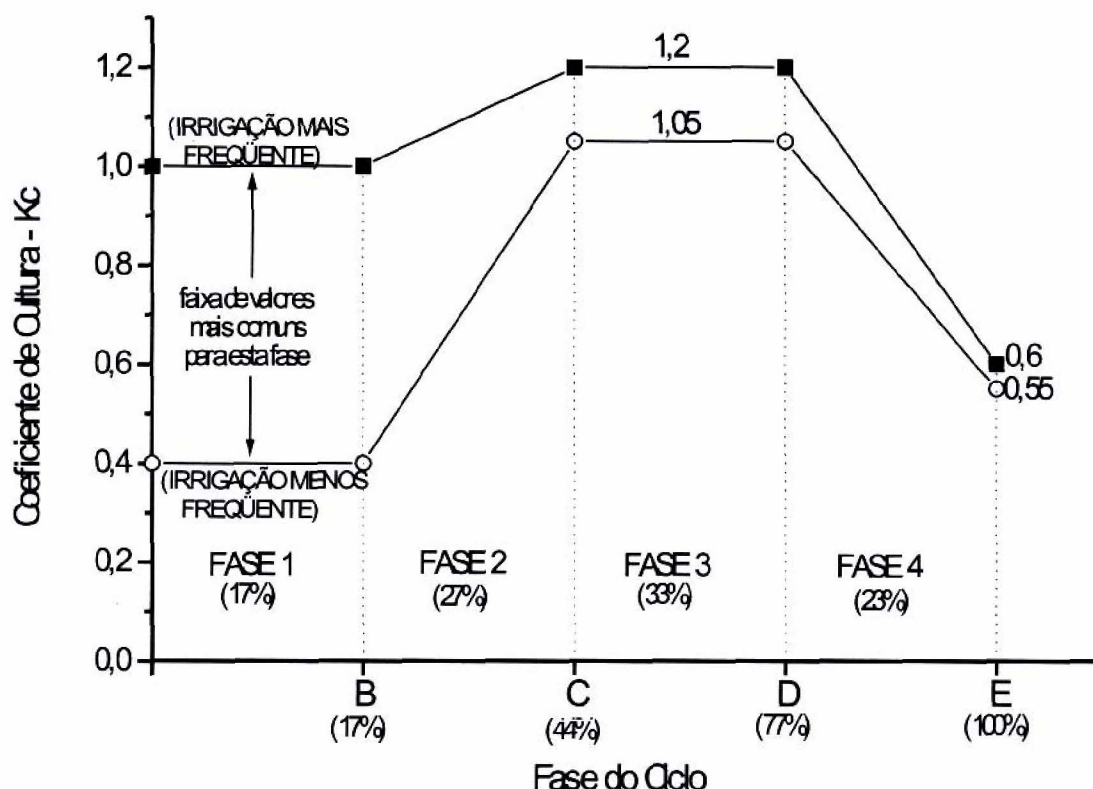


Figura 3. Valores estimados para o coeficiente de cultura (K_c) do milho, segundo o manual FAO-24 (Doorenbos e Pruitt, 1977), para cada fase do ciclo de crescimento. Para facilitar a escolha dos valores dentro da faixa apresentada, deve-se orientar pela Tabela 4.

A planilha é composta de 14 colunas (de A a N) e de tantas linhas quantas forem necessárias, dependendo do número total de dias do ciclo da cultura. Para o milho, com o seu ciclo cultural variando de 125 a 180 dias, o número total de linhas vai variar de 144 a 199, respectivamente.

As células possuem seis cores diferentes: *branca*, *verde-escura*, *cinza*, *amarela*, *azul-clara* e *verde-clara*. As células *brancas* são vazias ou auxiliares, para se efetuar algum cálculo; nesse caso, são preenchidas com caracteres na cor cinza-clara. A célula *verde-escura* é única e indica a cultura para se fazer o manejo, no presente caso, está disponível somente para o *milho*. Nas células de cor *cinza* estão as descrições dos parâmetros de entrada ou dos que

Tabela 4. Valores dos coeficientes de cultura (K_c) do milho para as fases do ciclo vegetativo, cuja faixa de variação está apresentada na Figura 3, de acordo com as condições climáticas locais.

Fase	Umidade Relativa (UR) predominante (%)	Velocidade do Vento (v) predominante (m/s)	Valores de K_c
1* (B^{**} = 20 a 30 dias)	-	-	*
2 (C^{**} = 55 a 80 dias) Duração = 35 a 50 dias	< 20	0 – 5	Valor da Fase 1 [↑] até 1,15
		5 – 8	Valor da Fase 1 [↑] até 1,2
	20 - 70	0 – 5	Valor da Fase 1 [↑] até 1,1
		5 – 8	Valor da Fase 1 [↑] até 1,15
	> 70	0 – 5	Valor da Fase 1 [↑] até 1,05
		5 – 8	Valor da Fase 1 [↑] até 1,1
3 (D^{**} = 95 a 140 dias) Duração = 40 a 60 dias	< 20	0 – 5	1,15 [→]
		5 – 8	1,2 [→]
	20 – 70	0 – 5	1,1 [→]
		5 – 8	1,15 [→]
	> 70	0 – 5	1,05 [→]
		5 – 8	1,1 [→]
4 (E^{**} = 125 a 180 dias) Duração = 30 a 40 dias	< 20	0 – 5	1,15 [↓] a 0,6
		5 – 8	1,2 [↓] a 0,6
	20 – 70	0 – 5	1,1 [↓] a 0,58
		5 – 8	1,15 [↓] a 0,58
	> 70	0 – 5	1,05 [↓] a 0,55
		5 – 8	1,1 [↓] a 0,55

* Estimar os valores para a Fase 1 através da equação 5

** Veja Figura 3 (duração da fase variável de acordo com a cultivar e a época de plantio)

↑ valor crescente

→ valor constante

↓ valor decrescente

Valores de K_c obtidos de metodologia apresentada pelo manual FAO-24 (Doorenbos e Pruitt, 1977)

serão gerados no processamento desses parâmetros. As células amarelas deverão ser preenchidas pelo usuário com os parâmetros

de entrada, conforme está solicitado nas células cinzas. As células *azul-claras* e *verde-claras* são preenchidas automaticamente com os parâmetros gerados após serem processados em função dos parâmetros de entrada das células amarelas. As células *verde-claras* são as responsáveis por apresentar os resultados finais que o usuário procura, pois fornecem prontamente a data, se haverá necessidade ou não de irrigação em cada dia e, caso positivo, a lâmina líquida de irrigação. À exceção das células *amarelas*, todas as demais estão protegidas, inclusive através de senha, contra qualquer tipo de alteração. Além disso, algumas têm o conteúdo oculto.

As células que possuem um pequeno triângulo vermelho no canto superior direito têm uma descrição resumida do que representa a célula em questão. Para tal, deve-se posicionar o cursor do *mouse* exatamente sobre o triângulo.

A planilha está dividida em duas partes; a primeira, que corresponde às linhas 4 a 16, deve ter as suas células amarelas preenchidas com os parâmetros básicos de cultura, de solo e de clima; a segunda, que corresponde às linhas a partir da linha 17, deve ter as células amarelas preenchidas dia-a-dia, o que vai gerar nas células azul-claras e verde-claras os resultados referentes à cultura no dia em questão e se haverá necessidade de irrigação ou não; caso positivo, também será informada a lâmina líquida necessária.

Além disso, na cor branca escrita em cinza-claro, há uma linha (de número 16) e colunas auxiliares (K, L, M e N) para os cálculos, as quais serão descritas adiante e são preenchidas também automaticamente.

b) Descrição da primeira parte da planilha (colunas A a J, linhas 4 a 16)

As células a serem preenchidas são as amarelas, de acordo com o que é solicitado nas células cinzas do lado esquerdo. Todas as células amarelas obrigatoriamente deverão ser preenchidas, exceto

as D13, F13 e H13, de tal modo que somente uma dessas deverá ser preenchida com um x (minúsculo), segundo a escolha do usuário para a demanda evaporativa do local. Salienta-se aqui que somente uma dessas células deve ser preenchida, pois, ao se preencherem duas ou as três células ao mesmo tempo, há predominância da D13 (alta demanda evaporativa) sobre todas e da F13 sobre a H13.

As linhas 4 a 6 referem-se a parâmetros da cultura do milho, quer sejam data do plantio, duração total do ciclo, profundidade de semeadura e profundidade máxima efetiva do sistema radicular. A data do plantio deve ser preenchida no formato *dd/mm/aa*. A duração total do ciclo do milho deve ser prevista; geralmente, varia de 120 a 180 dias, dependendo da época e da região do plantio. A profundidade de semeadura (Z_0) também deve ser indicada, assim como a profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z), cujo valor pode estar em torno de 40-50 cm, em condições do Brasil Central, em que há grande ocorrência de solos com alumínio tóxico.

As linhas 7 a 10 referem-se a parâmetros do solo, os quais são a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP), a umidade inicial do solo, a densidade (d), o fator de depleção (p) e a capacidade total de água disponível ($CTAD$). CC e PMP já foram definidos e devem ter entrada na unidade % peso. A umidade inicial é aquela em que o solo se encontra no dia da semeadura; entretanto, havendo dificuldade na sua determinação, pode ser considerado como se fosse o PMP , caso não tenham ocorrido chuvas nos dias anteriores ao plantio. O p é estimado para cada uma das quatro fases do ciclo da cultura, sendo que a Tabela 2 pode facilitar a escolha desse parâmetro. O $CTAD$ (células I11 e J11) é calculado automaticamente de acordo com a CC , o PMP e d .

As linhas 12 a 16 referem-se a parâmetros do clima: demanda evaporativa do local, coeficiente do tanque Classe A, evapotranspiração de referência média (ET_0), turno de irrigação (F) prevista para a fase 1 do ciclo da cultura. Os coeficientes de cultura

(K_c) para algumas fases são processados automaticamente e, portanto, são preenchidos na linha 15. A linha 16 fornece automaticamente os valores da declividade da curva do K_c da fase 1 para a fase 3 e da fase 3 para a fase 4 (veja Figura 3).

c) Descrição da segunda parte da planilha (colunas A a J, linha 18 em diante)

Como já foi frisado, somente as colunas que possuem células amarelas (F e G) serão preenchidas pelo usuário. As demais são preenchidas automaticamente, de acordo com os parâmetros de entrada das células amarelas.

A coluna A representa a *data*, que é preenchida automaticamente dia-a-dia, em função da data de plantio e da duração total do ciclo da cultura.

A coluna B é o *DAS* (dias após a semeadura). A data do plantio é o $DAS = 0$.

A coluna C representa uma das quatro fases do ciclo cultural na qual a cultura se encontra. A divisão dessas quatro fases é baseada na Figura 3, segundo a duração total do ciclo da cultura.

A coluna D é o desenvolvimento do sistema radicular a partir da profundidade de semeadura (Z_0) até a profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z). A evolução do desenvolvimento é baseada de tal forma que o seu desenvolvimento é linear e se completa no início da Fase 3, conforme está na Figura 1.

A coluna E é o coeficiente de cultura (K_c), que também evolui, como está mostrado na Figura 3. Para a Fase 1, é utilizada a equação 6 e, para as demais, a Tabela 4, de acordo com a demanda evaporativa local selecionada.

A coluna F é a de entrada dos dados referentes à evaporação da água do tanque Classe A (ECA), que é preenchida diariamente.

A coluna G é a de entrada dos dados referentes à precipitação pluviométrica (*chuva*) ocorrida diariamente.

Para maior coerência nos resultados, devem-se preencher as colunas F e G com os valores do dia das medições de ECA e chuva, mesmo que a maior parte represente o dia anterior. Preferencialmente, essas medições devem ser feitas antes das 9 horas da manhã e, todos os dias, no mesmo horário determinado.

Na coluna H é mostrado se haverá necessidade ou não de irrigação no dia em questão. É preenchida automaticamente tão logo se entre com o valor de *ECA* na coluna F.

A coluna I representa a *chuva efetiva*, que, no presente caso, significa toda a chuva infiltrada no solo e que reponha ao mesmo a sua umidade no máximo até a capacidade de campo (*CC*) no perfil de solo (*Z*) do dia observado. O que exceder além da *CC* é desprezado e o que ficar aquém é considerado. Aqui é levado em consideração que toda a chuva é infiltrada no solo.

A coluna J é a lâmina líquida de irrigação a ser aplicada à cultura no dia determinado para tal, segundo a coluna H. O cálculo é baseado no balanço da água no solo (coluna auxiliar M), dentro de um fator de depleção (*p*) estabelecido, segundo a fase da cultura, e da evapotranspiração diária da cultura (coluna auxiliar N). Como anteriormente discutido, esse balanço tem como base as equações 2 e 3.

d) Descrição das colunas auxiliares (colunas K a N, linha 17 em diante)

A coluna K é a água total disponível (*ATD*) diariamente no solo, que é calculada em função da *CTAD* (célula I11) e dos valores diários de *Z* constantes na coluna D.

A coluna L é a água facilmente disponível (*AFD*) diariamente no solo, que é calculada pelo produto da *ATD* (coluna K) e o fator de depleção (*p*) estipulado para cada fase do ciclo cultural (células D10, F10, H10 e J10).

A coluna M é onde se realiza o balanço da água no solo propriamente dito, o qual é baseado nas equações 2 e 3. A chuva

efetiva e a irrigação somadas são consideradas como parâmetros de entrada e a evapotranspiração da cultura (ET_c), como parâmetro de saída do balanço. Todas as vezes que, no dia anterior, o balanço se tornar nulo ou for negativo, haverá necessidade de reposição de água no solo até a sua capacidade de campo, ou seja, deve-se proceder à irrigação no dia em questão. No cálculo desse balanço, diariamente, a água é retirada da AFD no solo pelo consumo da ET_c da cultura.

A coluna N representa a ET_c diária, que é calculada segundo a equação 4, pelo produto da evaporação da água do tanque Classe A (ECA – coluna F), coeficiente do tanque (K_t – célula C14) e os coeficientes da cultura diários (K_c – coluna E).

6. EXEMPLO

A planilha “EXEMPLO” está preenchida com dados que servem como exemplo. Esses dados são reais, obtidos para as condições de solo e clima da estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, localizada em Sete Lagoas, Minas Gerais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- CHRISTOFIDIS, D. **Recursos hídricos e irrigação no Brasil**. Brasília: Centro de Desenvolvimento sustentável/ UnB, 1999. 34p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (Estudio FAO: Riego y Drenage, 33)
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

- HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385p.
- ITIER, B.; MARAUX, F.; RUELLE, P.; DEUMIER, J.M. Applicability and limitations of irrigation methods and techniques. In: SMITH, M. et al. (Eds.). **Irrigation scheduling: from theory to practice**. Rome: ICID/FAO, 1996. p.19-32.
- MOREIRA, H.J.C. **SAAC/ Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas: manual prático para o manejo da irrigação**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 86p.
- REBOUÇAS, A.C. A água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUCAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: IEA/ USP, 1999. cap.1, p.1-36.
- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 513p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: UFV, NEPUT, 1995. 304p.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.118, n.6, p.977-980, Nov./Dec. 1992.
- VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Irrigação localizada**. Tradução de H.R. Gheyi, F.A.V. Damasceno, L.G.A. Silva Jr., J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

